饲粮添加维生素 E 和硒对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及血清生化指标的影响

张　婷　杨雅涵　李仁德　王　静　刘可园　刘学庆　郭肖兰　李光玉*

(中国农业科学院特产研究所，吉林省特种经济动物分子生物学省部共建实验室，长春 130112)

摘　要：本试验旨在研究饲粮添加维生素 E（VE）和硒（Se）对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及血清生化指标的影响。选取 60 只 70 日龄、平均体重为（1 030.64±85.50） g 的健康雄性短毛黑水貂，随机分成 4 组，每组 15 个重复，每个重复 1 只，分别饲喂基础饲粮（对照组）、基础饲粮＋200 mg/kg VE（以 *DL*-α-生育酚乙酸酯为 VE 源，含量为 50%）（VE 组）、基础饲粮＋0.2 mg/kg Se（以甘氨酸纳米硒为 Se 源，含量为 1%）（Se 组），基础饲粮＋200 mg/kg VE＋0.2 mg/kg Se（VE+Se 组）。试验从 2017 年 7 月 14 日开始，至 2017 年 9 月 14 日结束。结果显示：1）与对照组相比，VE 组和 VE+Se 组水貂平均日增重显著增加而料重比显著下降（P<0.05）。2）VE+Se 组水貂脂肪消化率极显著高于对照组（P<0.01），但与 VE 组和 Se 组差异不显著（P>0.05）。3）VE+Se 组水貂血清超氧化物歧化酶（SOD）和谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性显著或极显著高于对照组（P<0.05 或 P<0.01），但与 VE 组和 Se 组差异不显著（P>0.05）；与对照组相比，饲粮单独添加 VE 或同时添加 VE 和 Se 极显著降低水貂血清活性氧（ROS）水平（P<0.01）。4）VE+Se 组水貂血清免疫球蛋白 G(IgG)水平显著高于 VE 组和 Se 组（P<0.05），但与对照组差异不显著（P>0.05）。与对照组相比，饲粮同时添加 VE 和 Se 显著提高水貂血清白介素-2（IL-2）水平（P<0.05）。综合考虑得出，本试验条件下，饲粮中同时添加 200 mg/kg VE 和 0.2 mg/kg Se 可促进育成期水貂生长，提高脂肪消化率，同时增强机体抗氧化能力及免疫力。

收稿日期：2018-03-13

基金项目：中国农业科学院科技创新工程（CAAS-ASTIP-2018-ISAPS)

作者简介：张　婷（1988-）女，吉林长春人，硕士，研究方向为野生动植物保护与利用。E-mail：zhangting542118@163.com

*通信作者：李光玉，研究员，博士生导师，E-mail：　tcslgy@126.com

关键词：水貂；维生素 E；硒；生长性能；营养物质消化率；血清生化指标

中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　文章编号：

水貂作为肉食性动物，饲喂高脂饲粮有利于提高其生长性能[1]。鱼油、鸡油、豆油等油脂是水貂饲粮脂肪的主要来源，因含有较高水平的不饱和脂肪酸，容易发生氧化。Børsting 等[2]研究发现，饲喂含氧化鱼油的饲粮时，水貂的采食量下降，生长性能显著降低。Tauson 等[3]研究表明采食脂肪酸氧化的饲料原料会降低水貂的毛皮品质。维生素 E（VE）和硒（Se）作为动物必需的营养素，对机体抗氧化、免疫及生产性能具有重要作用，是畜禽饲料中常用的抗氧化剂。刘雯雯[4]研究报道，育肥猪饲粮中添加 0.3 mg/kg Se 或 100 mg/kg VE 能提高机体的抗氧化力，二者同时添加时效果最好。谭芳等[5]报道，日粮中添加 1.0～2.0 mg/kg Se 和 83.32～166.64 IU VE 不仅可提高蛋鸡的生产性能，而且可大大增加 Se 和 VE 在蛋中的沉积。然而，目前国内外有关水貂 VE 和 Se 需要量的研究报道较少。Stowe 等[6]研究表明，以猪油为脂肪来源时，水貂饲粮 VE 添加水平为 25 mg/kg。Treuthardt[7]建议，富含鱼类副产品的水貂饲粮其 VE 添加水平为 200～300 mg/kg。NRC（1982）[8]推荐水貂饲粮 Se 添加水平为 0.1 mg/kg。本试验以鸡油为主要脂肪来源，研究干粉饲粮中添加 VE 和 Se 对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及血清生化指标的影响，为丰富我国水貂营养需要量数据库提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计与试验动物饲养管理

选取 60 只 70 日龄、平均体重为（1 030.64±85.50） g 的健康雄性短毛黑水貂，随机分成 4 组，每组 15 个重复，每个重复 1 只，分别饲喂基础饲粮（对照组）、基础饲粮＋200 mg/kg VE（以 *DL*-α-生育酚乙酸酯为 VE 源，含量为 50%）（VE 组）、基础饲粮＋0.2 mg/kg Se（以甘氨酸纳米硒为 Se 源，含量为 1%）（Se 组）、基础饲粮＋200 mg/kg VE＋0.2 mg/kg Se

（VE+Se 组）。试验用基础饲粮以膨化玉米、秘鲁鱼粉、肉粉、豆粕、鸡油等为主要原料，同时添加由矿物质、维生素等组成的营养性添加剂，基础饲粮组成及营养水平见表 1。试验所用鸡油为主要脂肪来源，购买于山东滨州澳大饲料公司，酸价≤3 mg KOH/g，过氧化值≤5 mmol/kg。为防止天气炎热导致油脂氧化，将配制好的试验饲粮存于冷库，现喂现取。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
膨化玉米 Extrusion corn	33.40
豆粕 Soybean meal	12.00
玉米蛋白粉 Corn protein meal	8.00
鱼粉 Fish meal	20.00
肉粉 Meat meal	15.00
鸡油 Poultry fat	10.00
L-赖氨酸 *L*-lysine	0.30
DL-蛋氨酸 *DL*-methionine	0.30
预混料 Premix[1)]	1.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	15.41
粗蛋白质 Crude protein	35.50
粗脂肪 Ether extract/(g/kg DM)	13.55
粗灰分 Ash	8.07
钙 Calcium	2.96
磷 Phosphorous	1.84
赖氨酸 Lysine	1.71
蛋氨酸 Methionine	0.97
维生素 E VE/(mg/kg)	28.30
硒 Se/(mg/kg)	0.48

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：VA 10 000 IU，VD_3 2 000 IU，VK_3 1 mg，VB_1 20 mg，VB_2 10 mg，VB_6 10 mg，VB_{12} 0.1 mg，烟酸 40 mg，泛酸 pantothenic acid 22 mg，叶酸 folic acid 1 mg，生物素 biotin 1 mg，氯化胆碱 choline chloride 400 mg，VC 120 mg，Cu 20 mg，Fe 80 mg，Zn 32 mg，Mn 16 mg，I 0.5 mg，Se 0.12 mg，Co 0.2 mg。

[2)]粗蛋白质、粗脂肪、钙、磷、赖氨酸及蛋氨酸为测定值，代谢能为计算值，计算方法参照 NRC（1982）

[8]。Crude protein, ether extract, calcium, phosphorous, lysine and methionine were measured values, while ME was calculated based on NRC (1982)[8].

试验从 2017 年 7 月 14 日开始，至 2017 年 9 月 14 日结束。整个试验在室外自然光照条件下进行，由专人进行饲养，每天早晚各饲喂 1 次，自由采食并保证充足的饮水。以正式试验第 1 天空腹重作为初重，以试验结束后空腹重作为末重，计算每只水貂的日增重和每组水貂的平均日增重(ADG)；以组为单位记录每天的耗料量，计算每组水貂的平均日采食量（ADFI）。根据每组水貂的 ADG 和 ADFI 计算料重比(F/G)。

1.2　样品采集

消化代谢试验于 2017 年 8 月 24—26 日进行，从每组选出 8 只采食与排粪正常的水貂作为消化代谢试验动物。采用全收粪法收集连续 3 d 的粪尿，尿样收集前在收集桶内加入 10 mL 10%硫酸固氮，将每只水貂 3 d 的尿液混匀过滤后分装于 10 mL 离心管中，置于-20 ℃保存备用。每只试验水貂的粪样混匀后分成 2 份：一份先在 80 ℃下杀菌 2 h，再将温度降至 65~70 ℃烘干至恒重，测定初水分后将干粪样粉碎过孔径为 0.45 mm（40 目）筛，制成样品测定粗脂肪含量；另一份鲜粪样加 10%硫酸处理后于 100～105 ℃下烘干，粉碎过孔径为 0.45 mm（40 目）筛，制成样品测定粗蛋白质含量。

饲养试验结束后，每组分别选取 8 只水貂，断指采血 4 mL 于一次性真空促凝采血管中，静置待血清析出后 4 500 r/min、4 ℃离心 7 min，收集血清，置于-80 ℃中保存。

1.3　指标测定

粗蛋白质含量采用全自动凯氏定氮仪（FOSS Kjeltec 8400，丹麦）测定，方法参照 GB/T 6432—1994；粗脂肪含量采用脂肪提取仪（BUCHI B-81，美国）测定，方法参照 GB/T 6433—1994；粗灰分含量按照 GB/T 6438—92 所述方法测定；钙含量测定采用乙二胺四乙酸（EDTA）络合滴定法，参照 GB/T 6436—1992；磷含量采用钒钼酸铵比色法测定，参照 GB/T

6437—1992；赖氨酸和蛋氨酸含量采用氨基酸分析仪（Hitachi L-8900，日本）测定，方法参照 GB/T 5009.124—2003；VE 含量采用高效液相色谱仪（Agilent 1200，美国）测定，方法参照 GB/T 9454—2000；Se 含量采用原子荧光光谱仪（AFS 9130，中国）测定，方法参照李明远[9]。

血清谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）、超氧化物歧化酶（SOD）活性，丙二醛（MDA）含量及总抗氧化能力（T-AOC）采用紫外可见分光光度计（SPECORD S600，德国）测定，检测试剂盒均购于南京建成生物工程研究所，测定方法参照试剂盒说明书。血清活性氧（ROS）、免疫球蛋白 A（IgA）、免疫球蛋白 G（IgG）、免疫球蛋白 M（IgM）、白介素-2（IL-2）、白介素-6（IL-6）、肿瘤坏死因子-α（TNF-α）、甲状腺素（T4）、三碘甲腺原氨酸（T3）、生长激素（GH）和胰岛素样生长因子-1（IGF-1）水平采用多功能酶标仪（Molecular Devices FilterMax F3/F5，美国）测定，检测试剂盒均购于上海双赢生物科技有限公司，测定方法参照试剂盒说明书。

1.4 数据统计

试验数据采用 Excel 2003 进行整理，采用 SAS 8.0 软件中一般线性模型（GLM）程序进行统计分析，多重比较采用 Duncan 氏法进行，其中 $P<0.01$ 为差异极显著，$P<0.05$ 为差异显著，$P>0.05$ 为差异不显著，结果以平均值±标准差表示。

2 结 果

2.1 饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂生长性能的影响

由表 2 可知，与对照组相比，饲粮单独添加 VE 或同时添加 VE 和 Se 可显著提高水貂的平均日增重（$P<0.05$），同时显著降低料重比（$P<0.05$）。各组水貂的末重、平均日采食量差异不显著（$P>0.05$）。

表 2 饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary VE and Se on growth performance of growing minks

项目 Items	对照组 Control group	VE 组 VE group	Se 组 Se group	VE+Se 组 VE+Se group	*P* 值 *P*-value
初重 IBW/g	1 030.64±84.13	1 031.47±80.23	1 030.06±68.92	1 031.82±72.04	0.762 4
末重 FBW/g	1 519.16±118.66	1 610.90±142.43	1 538.33±188.67	1 632.72±125.70	0.067 1
平均日增重 ADG/g	8.14±2.36^{b}	9.65±2.89^{a}	8.44±1.79^{ab}	10.04±2.61^{a}	0.021 6
平均日采食量 ADFI/g	109.24±11.67	112.37±12.84	110.43±14.40	114.24±13.09	0.146 4
料重比 F/G	13.42±1.87^{a}	11.64±2.0^{b}	13.08±1.96^{a}	11.37±1.52^{b}	0.040 7

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），不同大写字母表示差异极显著（$P<0.01$）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ($P<0.01$). The same as below.

2.2 饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂营养物质消化率及氮代谢的影响

由表 3 可知，与对照组相比，饲粮中同时添加 VE 和 Se 极显著提高水貂的脂肪消化率（$P<0.01$）；各组水貂的干物质消化率、蛋白质消化率、食入氮、尿氮、粪氮及氮沉积差异不显著（$P>0.05$）。

表 3 饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂营养物质消化率及氮代谢的影响

Table 3 Effects of dietary VE and Se on nutrient digestibility and nitrogen metabolism of growing minks

项目 Items	对照组 Control group	VE 组 VE group	Se 组 Se group	VE+Se 组 VE+Se group	*P* 值 *P*-value
干物质消化率 DM digestibility/%	76.50±1.79	76.35±1.91	75.23±3.03	77.54±1.61	0.263 7
脂肪消化率 Fat digestibility/%	90.48±2.41^{Bb}	92.03±2.06^{ABab}	90.48±2.54^{ABab}	93.17±1.32^{Aa}	＜0.000 1

蛋白质消化率 Protein digestibility/%	76.61±1.66	76.30±2.07	74.51±3.51	75.65±2.26	0.332 8
尿氮 Urine nitrogen/(g/d)	2.88±0.52	2.86±0.62	2.95±0.42	2.97±0.30	0.163 4
粪氮 Fecal nitrogen/(g/d)	1.22±0.22	1.28±0.13	1.30±0.15	1.19±0.22	0.064 2
食入氮 Intake nitrogen/(g/d)	5.75±0.76	5.91±0.80	5.81±0.93	6.01±0.62	0.129 9
氮沉积 Nitrogen retention/(g/d)	1.65±0.36	1.77±0.54	1.56±0.42	1.85±0.24	0.118 4

2.3　饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂血清抗氧化指标的影响

由表 4 可知，VE+Se 组水貂血清 SOD 和 GSH-Px 活性显著或极显著高于对照组（*P*<0.05 或 *P*<0.01），但与 VE 组和 Se 组差异不显著（*P*>0.05）。与对照组相比，饲粮中单独添加 VE 或同时添加 VE 和 Se 极显著降低水貂血清 ROS 水平（*P*<0.01）。血清 MDA 含量和 T-AOC 各组之间差异不显著（*P*>0.05）。

表 4　饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂血清抗氧化指标的影响

Table4　Effects of dietary VE and Se on serum antioxidant indices of growing minks

项目 Items	对照组 Control	VE 组 VE group	Se 组 Se group	VE+Se 组 VE+Se group	*P*-值 *P*-value
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	20.45±2.15^{b}	21.63±3.84^{ab}	22.94±2.52^{ab}	23.17±2.67^{a}	0.0284
丙二醛 MDA/(U/mL)	8.04±1.74	7.01±1.05	7.76±1.62	7.14±0.86	0.2440
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/L)	1 695.11±286.74^{Bb}	2 174.12±350.96^{Aa}	1 933.80±265.30^{ABab}	2 028.0±308.25^{Aa}	＜0.0001
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	9.24±1.85	10.02±1.26	9.04±1.04	9.43±1.45	0.6715
活性氧 ROS(A.U./mL)	552.39±8.64^{Aa}	474.67±68.84^{BCbc}	502.76±76.50^{ABab}	430.69±51.12^{Cc}	＜0.0001

2.4　饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂血清免疫指标的影响

由表 5 可知，VE+Se 组水貂血清 IgG 水平显著高于 VE 组和 Se 组（*P*<0.05），但与对

照组差异不显著（P>0.05）。与对照组相比，饲粮中同时添加 VE 和 Se 显著提高水貂血清 IL-2 水平（P<0.05）。血清 IgA、IgM、IL-6 和 TNF-α水平各组之间差异不显著（P>0.05）。

表 5　饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂血清免疫指标的影响

Table 5　Effects of dietary VE and Se on serum immune indices of growing minks

项目 Items	对照组 Control group	VE 组 VE group	Se 组 Se group	VE+Se 组 VE+Se group	P 值 P-value
免疫球蛋白 A IgA/(μg/mL)	71.25±11.13	74.40±10.07	72.40±15.75	74.26±14.23	0.153 1
免疫球蛋白 G IgG/(μg/mL)	704.62±38.24^{ab}	675.46±35.06^{b}	695.48±59.48^{b}	744.50±46.93^{a}	0.030 8
免疫球蛋白 M IgM/(μg/mL)	3.61±0.56	4.14±0.63	3.93±0.42	4.26±0.50	0.261 0
白介素-2 IL-2/(ng/L)	1 059.25±270.36^{b}	1 202.64±184.46^{ab}	1 198.45±226.09^{ab}	1 363.61±254.41^{a}	0.022 6
白介素-6 IL-6/(ng/L)	111.15±6.08	108.17±5.92	116.14±6.12	120.65±6.86	0.443 7
肿瘤坏死因子-α TNF-α/(ng/L)	816.84±56.80	874.78±64.04	808.79±58.87	840.31±49.74	0.160 9

2.5　饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂血清激素水平的影响

由表 6 可知，血清 T3、T4、GH 和 IGF-1 水平各组间差异不显著（P>0.05）。

表 6　饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂血清激素水平的影响

Table 6　Effects of dietary VE and Se on serum hormone levels of growing minks

项目 Items	对照组 Control group	VE 组 VE group	Se 组 Se group	VE+Se 组 VE+Se group	P 值 P-value
三碘甲腺原氨酸 T3/(pmol/L)	32.83±5.89	32.63±6.32	31.78±6.08	31.71±5.11	0.6531
甲状腺素 T4/(pmol/L)	1156.54±180.60	1111.62±155.44	1167.38±172.43	1179.25±135.36	0.5463
生长激素 GH/(ng/L)	34.60±4.76	35.34±5.48	32.45±7.85	35.97±4.79	0.0770
胰岛素样生长因子-1 IGF-1/(μg/L)	23.96±3.25	23.57±4.45	25.38±4.34	25.68±4.29	0.3608

3　讨　论

3.1　饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂生长性能的影响

VE 是抗氧化防御系统的重要组成部分，通过参与关键酶和酶反应，在动物生长过程中发挥重要作用[10]。Ebeid 等[11]研究表明饲粮补充 VE 可显著提高幼兔的末重和饲料转化率。呙于明等[12]研究表明饲粮添加 100 mg/kg VE 可显著提高 1～21 日龄肉仔鸡的体重和饲料转化率。刘雯雯[4]研究发现饲粮添加 VE 对育肥猪 60～80 kg 和 80～110 kg 阶段的生产性能均有改善的趋势。本试验中，饲料中添加 VE 同样可以显著提育成期水貂的生长性能，其可能原因是：水貂肠道内环境复杂，饲粮中过氧化物以及肠细胞自身产生的 ROS，可能会导致肠道细胞膜的氧化，使其功能异常。特别是在断奶后一段时间内，水貂肠道内黏液染色区减少，易受病原体感染和氧化应激损伤[13]。VE 作为抗氧化剂，可直接作为电子供体，阻断自由基的链式反应，保护肠黏膜抵抗氧化损伤和病原体的感染，进而提高营养物质的消化利用率[14-15]。Se 作为动物机体必需的微量元素，其促生长作用在畜禽上研究较多，但结果不一。冯婧[16]研究表明，饲粮添加 0.08～0.16 mg/kg Se 可提高生长期蛋鸭的生长性能。马雄[17]报道，饲粮 Se 水平对绒山羊羔羊生长性能没有显著影响。在本试验条件下，饲粮添加 0.2 mg/kg Se 对育成期水貂的生长性能没有产生显著影响，由此说明基础饲粮中 Se 水平（0.48 mg/kg）可满足育成期水貂的基本生长需要。

3.2　饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂营养物质消化率及氮代谢的影响

目前，国内外有关 VE 和 Se 对畜禽营养物质消化率及氮代谢影响的研究报道较少，且结论不一。张拴林等[18]研究表明，饲粮添加 0.3 mg/kg Se 和 30 IU/kg VE 可提高肉牛干物质和蛋白质表观消化率以及沉积氮。刘雯雯[4]研究表明，饲粮添加 VE 和 Se 对育肥猪营养物质消化率无显著影响。本试验条件下，饲粮同时添加 VE 和 Se 显著提高育成期水貂脂肪消化率，这可能与 VE 对脂肪代谢相关基因的调控有关。González-Calvo 等[19]研究发现，补充 VE 可显著提高羔羊皮下脂肪组织中过氧化物酶体增殖物激活受体-α基因的表达量。此外，VE 和 Se 可能还通过抗氧化性能保护肠黏膜免受自由基和病原菌的攻击，维持肠道对营养

素的消化吸收功能。

3.3 饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂血清抗氧化指标的影响

作为抗氧化剂，VE 和 Se 可通过相关酶来调节机体抗氧化能力。SOD 和 GSH-Px 是重要的自由基清除酶，通过测定其活性能客观地反映出机体抗氧化能力的高低。Chen 等[20]研究表明，饲粮添加 Se 可显著提高 21 日龄仔猪血清 SOD 活性。Ebeid 等[11]研究发现，饲粮中同时添加 VE 和 Se 可显著提高肉兔血清 GSH-Px 活性。袁艺森[21]研究报道，饲粮添加高水平 VE 和适量 Se 显著提高产蛋鸭血清 SOD 和 GSH-Px 活性。本试验与前人的研究结果一致，在饲粮中同时添加 VE 和 Se 可显著提高育成期水貂血清 SOD 和 GSH-Px 活性。ROS 是含氧、有高度化学活性的分子的总称。在生理条件下，机体内 ROS 的形成与内源性抗氧清除化合物的清除能力之间存在着平衡。机体在遭受各种刺激时，体内 ROS 的产生超出机体的清除能力，造成氧化损伤如脂质过氧化、生物膜结构和功能的改变、DNA 损伤等。在本试验条件下，饲粮单独添加 VE 和同时添加 VE 与 Se 可降低水貂血清 ROS 水平，这与 Baldi 等[22]和 Colitti 等[23]在反刍动物上的研究结果一致。

3.4 饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂血清免疫指标的影响

VE 和 Se 对免疫功能至关重要，在包括人类在内的多种动物的饮食中都有免疫增强作用。作为抗氧化剂，VE 和 Se 对免疫反应的作用，有可能通过其抗氧化性来维持免疫细胞及周围组织免受氧化应激产物的损害，从而维持免疫细胞及组织的完整性和正常生理功能[24]。在体液免疫方面，VE 和 Se 能够刺激机体产生特异性体液免疫反应，产生免疫球蛋白，促进 IgG、IgM 等抗体的合成；在细胞免疫方面，二者能够刺激机体产生高亲和力的 T 细胞 IL-2 受体，进而增加 IL-2 的分泌[25-26]。张大为[27]研究了 VE 和 Se 对免疫应激下固始鸡免疫功能的影响，结果表明，当 Se 和 VE 添加水平分别为 0.6 mg/kg 和 100～200 mg/kg 时，能有效地降低机体的炎性因子水平，改善固始鸡的免疫功能。本试验结果发现，饲粮中同时添

加 VE 和 Se 可显著提高育成期水貂 IL-2 水平，同时 VE+Se 组血清 IgG 水平显著高于 Se 组和 VE 组。这一结果说明，在改善育成期水貂机体免疫机能上，VE 和 Se 具有协同作用。

3.5　饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂血清激素水平的影响

Se 参与动物机体碘化甲状腺氨酸脱碘酶系的构成，对动物 T4 的代谢起着重要的作用。T4 广泛参与营养代谢，促进机体生长和组织发育。T3 是调节戊核磷酸循环酶因素之一，促进脂肪酸合成及其关键酶的转录。T3 能增加胰岛素 RNA 含量及胰岛素水平，促进肌肉蛋白质的合成与周转。T3 还控制着 *GH* 基因的表达与合成。动物缺 Se 能引起脱碘酶I活性下降，降低 T4 向 T3 的转化速度，使血液中 T4 水平上升而 T3 水平下降[28]。Hezarjaribi 等[29]研究表明，连续给肉鸡肌肉注射 0.3 mg/kg BW 的 VE 一段时间后，血清 T3 水平显著提高。刘来利等[30]试验也表明，鸡体缺 Se 时表现为血液中 T3 水平下降而 T4 上升，随 Se 水平的提高，T3 水平有上升趋势。但是，本试验结果表明，饲粮添加 VE 和 Se 对育成期水貂血清 T3、T4、GH 及 IGF-1 水平均无显著影响，具体机制有待进一步研究。

4　结　论

在本试验条件下，饲粮同时添加 200 mg/kg VE 和 0.2 mg/kg Se 可促进育成期水貂生长，提高脂肪消化率，同时增强机体抗氧化能力及免疫力。

参考文献：

[1]　NJF.Energy and main nutrients in feed for mink and foxes[S].Finland:Nordic Association of Agricultural Research,2012:59–62.

[2]　BØRSTING C F,ENGBERG R M,JAKOBSEN K,et al.Inclusion of oxidized fish oil in mink diets 1.The influence on nutrient digestibility and fatty-acid accumulation in tissues[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,1994,72(1/2/3/4/5):132–145.

[3]　TAUSON A H,NEIL M.Fish oil and rapeseed oil as main fat sources in mink diets in the

growing-furring period[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,1991,65(1/2/3/4/5):84–95.

[4] 刘雯雯.饲粮添加有机硒和 VE 对育肥猪生产性能、肉质和抗氧化力的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2008.

[5] 谭芳，李荣文，范石军.硒和维生素 E 对蛋鸡生产性能及其在蛋中沉积的影响[J].饲料博览,1997(2):4.

[6] STOWE H D,WHITEHAIR C K.Gross and microscopic pathology of tocopherol-deficient mink[J].The Journal of Nutrition,1963,81(4):287–300.

[7] TREUTHARDT J.Hematology,antioxidant trace elements,the related enzyme activities and vitamin E in growing mink on normal and anaemiogenic fish feeding[J].Academic Dissertation,Department of Biochemistry and Pharmacy,Åbo Acsdemin,Åbo,Finland,1992.

[8] NRC.Nutrient requirements of mink and foxes[S].2nd rev ed.Washington,D.C.:National Academy Press,1982.

[9] 李明远.微波消解-氢化物原子荧光光谱法测定食品中的微量元素硒[J].光谱实验室,2007,24(3):618–621.

[10] WILLSHIRE J A,PAYNE J H.Selenium and vitamin E in dairy cows—a review[J].Cattle Practice,2011,19(1):22–30.

[11] EBEID T A,ZEWEIL H S,BASYONY M M,et al.Fortification of rabbit diets with vitamin E or selenium affects growth performance,lipid peroxidation,oxidative status and immune response in growing rabbits[J].Livestock Science,2013,155(2/3):323–331.

[12] 呙于明,汤芹,陈继兰,等.0～3 周龄肉仔鸡日粮中维生素 E 的适宜供给量研究[J].畜牧兽医学报,1999,30(4):289–295.

[13] HEDEMANN M S,CLAUSEN T N,JENSEN S K.Changes in digestive enzyme activity,intestine morphology,mucin characteristics and tocopherol status in mink kits (*Mustela neovision*) during the weaning period[J].Animal,2010,5(3):394–402.

[14] KERMAUNER A,LAURENČIČ A.Supplementation of rabbit diet with chestnut wood extract:effect on *in vitro* gas production from two sources of protein[C]//Proceedings of the 9th World Rabbit Congress.Verona:[s.n.],2008:689–693.

[15] BRIGELIUS-FLOHÉ R.Vitamin E:the shrew waiting to be tamed[J].Free Radical Biology and Medicine,2009,46(5):543–554.

[16] 冯婧.微量元素硒对笼养育成蛋鸭生长性能及生化指标的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2012.

[17] 马雄.4–6 月龄绒山羊羔羊日粮中硒的适宜水平研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2010.

[18] 张拴林,袁霞,徐亚光,等.硒和维生素 E 对肉牛养分表观消化率、氮平衡、能量代谢及血液生化指标的影响[J].动物营养学报,2013,25(6):1219–1228.

[19] GONZÁLEZ-CALVO L,JOY M,ALBERTI C,et al.Effect of finishing period length with α-tocopherol supplementation on the expression of vitamin E-related genes in the muscle and subcutaneous fat of light lambs[J].Gene,2014,552(2):225–233.

[20] CHEN J,HAN J H,GUAN W T,et al.Selenium and vitamin E in sow diets: Ⅰ.Effect on antioxidant Status and reproductive performance in multiparous sows[J].Animal Feed Science and Technology,2016,221:111–123.

[21] 袁艺森.维生素 E 和硒对蛋雏鸭生长、免疫及抗氧化的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2014.

[22] BALDI A,LOSIO M N,CHELI F,et al.Evaluation of the protective effects of α-tocopherol and retinol against ochratoxin A cytotoxicity[J].British Journal of Nutrition,2004,91(4):507–512.

[23] COLITTI M,STRADAIOLI G,STEFANON B.Effect of α-tocopherol deprivation on the involution of mammary gland in sheep[J].Journal of Dairy Science,2000,83(2):345–350.

[24] BENDICH A.Antioxidant micronutrients and immune responses[M]//BENDICH A,CHANDRA R K.Micronutrients and Immune Function.New York:The New York Academy of Sciences, 1990:168–180.

[25] MEYDANI S N,HAN S N,WU D.Vitamin E and immune response in the aged:molecular mechanisms and clinical implications[J].Immunological Reviews,2005,205:269–284.

[26] SHARADAMMA K C,PURUSHOTHAM B,RADHAKRISHNA P M,et al.Role of selenium in pets health and nutrition:a review[J].Asian Journal of Animal Sciences,2011,5(1):64–70.

[27] 张大为.饲粮添加 VE 和硒对固始鸡生长、免疫和抗氧化机能的影响[D].硕士学位论文.郑州:河南农业大学,2013.

[28] BECKETT G J,MACDOUGALL D A, NICOL F,et al.Inhibition of type I and type II iodothyronine deiodinase activity in rat liver,kidney and brain produced by selenium deficiency[J].Biochemical Journal,1989,259(3):887–892.

[29] HEZARJARIBI A,REZAEIPOUR V,ABDOLLAHPOUR R.Effects of intramuscular injections of vitamin E-selenium and a gonadotropin releasing hormone analogue (GnRHa) on reproductive performance and blood metabolites of post-molt male broiler breeders[J].Asian Pacific Journal of Reproduction 2016,5(2):156–160.

[30] 刘来利,董碧兰,王必成.不同硒营养状态下鸡体内甲状腺激素的变化[J].甘肃畜牧兽

医,2000,30(5):15.

Effects of Dietary Vitamin E and Selenium on Growth Performance, Nutrient Digestibility and Serum Biochemical Indices of Growing Minks (*Mustela vison*)

ZHANG Ting YANG Yahan LI Rende WANG Jing LIU Keyuan LIU Xueqing GUO Xiaolan LI Guangyu*

(*State Key Laboratory of Special Economic Animal Molecular Biology, Institute of Special Animal and Plant Science, Chinese Academy of Agricultural Science*, *Changchun* 130112, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of dietary vitamin E (VE) and selenium (Se) on the growth performance, nutrient digestibility and serum biochemical indices of growing minks. Sixty 70-day-old male standard dark minks with the average body weight of (1 030.64±85.50) g were randomly divided into 4 groups with 15 replicates per group and 1 mink per replicate, and they were fed diets as follows: basal diet (control group), basal diet+200 mg/kg VE (50% *DL*-α-tocopheryl acetate as VE source, 50%) (VE group), basal diet+0.2 mg/kg Se (glycine nano-selenium as Se source, 1%) (Se group), and basal diet+200 mg/kg VE+0.2 mg/kg Se (VE+Se group). The experiment began at 14th July, 2017, and ended at 14th September, 2017. The results showed as follows: 1) the average daily gain （ADG） was significantly increased and the feed/gain (F/G) was significantly increased in VE and VE+Se groups compared with the control group ($P<0.05$). 2) The fat digestibility in VE+Se group was extremely significantly increased compared with the control group ($P<0.01$), but no significant difference was found between VE and Se groups ($P>0.05$). 3) The activities of superoxide dismutase (SOD) and glutathione peroxidase (GSH-Px) in serum in VE+Se group were significantly or extremely significantly

*Corresponding author, professor, E-mail： tcslgy@126.com (责任编辑　菅景颖)

higher than those in control group （$P<0.05$ or $P<0.01$）, but had no significant difference compared with VE and Se groups ($P>0.05$). Compared with the control group, only adding VE or both adding VE and Se in diets extremely significantly decreased serum reactive oxygen level compared with control group ($P<0.01$). 4) The serum immunoglobulin G level in VE+Se group was significantly higher than that in VE and Se groups ($P<0.05$), but had no significant difference compared with the control group ($P>0.05$). Compared with the control group, both adding VE and Se in diets significantly increased serum interleukin-2 level compared with control group ($P<0.05$). Considering all the factors, both adding 200 mg/kg VE and 0.2 mg/kg Se in diets can improve the growth, increase the fat digestibility, and enhance the antioxidant capacity and immunity of growing minks under this experimental condition.

Key words: minks; vitamin E; selenium; growth performance; nutrient digestibility; serum biochemical indices